第 37 卷第 21 期
2017 年 11 月
生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA
Vol.37,No.21
Nov.,2017

DOI: 10.5846/stxb201608251733
朱嘉伟,谢晓彤,李心慧.生态环境承载力评价研究——以河南省为例.生态学报,2017,37(21):7039-7047.
Zhu J W, Xie X T, Li X H. A solution to the problem of ecological environmental carrying capacity evaluation: a case study of Henan Province. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(21): 7039-7047.

生态环境承载力评价研究
——以河南省为例

朱嘉伟*, 谢晓彤, 李心慧
河南农业大学资源与环境学院,郑州 450002

摘要:测度人类活动是否处于生态环境的承载力范围之内是生态环境承载力评价的核心内容,是区域国土开发科学决策规划的需要,但是生态环境可承载能力的阈值和人类活动对生态环境施加压力的大小均是难以定量计算的,为了解决生态环境承载力评价面临的这一难题,本文研究提出了一种生态环境承载力评价的新方法,即"生态环境质量指数动态评价法"。该方法依据生态平衡理论和生态稳定性原理,将承载力评价转化为运行状态评价,以"生态环境系统是否处于良性运行状态"作为生态环境是否处于可承载状态的评价标准;首先应用生态环境质量指数(EI)模型计算出评价区多年的 EI 值,然后再依据 EI 的动态变化趋势对"生态环境系统的运行状态"进行评定,以达到对区域生态环境承载力进行评价之目的,以河南省为例,介绍了评价的方法与过程。结果表明:①生态环境质量现状评价不是承载力评价,但是可通过对生态环境质量的动态变化趋势进行回归分析以达到承载力评价之目的;②该方法紧扣生态环境承载力的内涵,避开了生态环境系统承载力阈值测算的难点,方法简明易行,结果意义明确、实用性强,为承载力评价提供了一种新思路和新方法;③生态环境系统质量现状不能反映其承载状态,信阳市的生态环境质量在河南是最好的,目前却处于超载、退化状态,而濮阳和安阳市的情况则与信阳市正好相反,应引起政府决策部门的重视。

关键词:生态环境;生态环境质量指数;生态环境承载力;河南省

A solution to the problem of ecological environmental carrying capacity evaluation: a case study of Henan Province

ZHU Jiawei*, XIE Xiaotong, LI Xinhui
College of Resources and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, *China*

Abstract: To evaluate eco-environmental carrying capacity, the core task is to estimate whether the intensity of human activity is within the threshold value of the eco-environmental carrying capacity. However, both the intensity of activity and the threshold value are difficult to measure correctly. In an attempt to solve the problem of evaluating eco-environmental carrying capacity, from the viewpoint of eco-environment system operating status, we present a new method of eco-environmental carrying capacity evaluation, called the "Eco-environment Index dynamic evaluation method," which is based on the ecological balance theory and the ecological stability principle. The processes adopted using this method are as follows. The first is providing an evaluation criterion of eco-environmental carrying status, that is, whether the eco-environment system is operating well. The second is calculating values of the eco-environment index (EI) in different years using an existing EI model. The third is judging the eco-environment system operating status based on the change trend of EI by regression analysis. Using these steps, eco-environmental carrying capacity can be evaluated. The evaluating process is

基金项目:中国地质调查局地质调查计划项目(12120113007300)
收稿日期:2016-08-25; **网络出版日期**:2017-07-11

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: zhujw686@163.com

demonstrated by using the case study of Henan Province, which yielded the following results. (1) Although eco-environmental carrying capacity evaluation is different from the EI, it can be performed by regression analysis of the EI. (2) This method, by following the strict definition of carrying capacity and avoiding the difficulty of estimating the intensity of activity and threshold value, provides a new way of thinking and a new approach to eco-environmental carrying capacity evaluation. Moreover, it is concise, easy to perform, and of clear significance. (3) Attention should be paid that the eco-environment quality cannot reflect the carrying status, for the region with a high eco-environment quality can be overloaded such as Xinyang, and the opposite case can be also exist such as Puyang and Anyang in Henan.

Key Words: eco-environment; eco-environment index; eco-environmental carrying capacity; Henan Province

承载力的思想萌芽于史前畜牧部落的放牧实践[1],1921 年,帕克和伯吉斯在有关生态学的杂志中提出了承载力的概念,将承载力定义为一个牧场在不遭受损害的情况下能够支持的牲畜数量[2]。把承载力应用到人类种群始于马尔萨斯的人口论[3],随后承载力被广泛应用于人类发展与自然环境之间的关系研究,被赋予了不同的内涵[3-5],但是,当承载力的思想扩展到人类环境系统的研究时,承载力理论遇到了极大的挑战。由于人类环境系统的开放性、动态性和可调控性以及人类对自然环境需求的多目标性,基于系统封闭性和静态性的评价成果脱离客观实际,缺乏说服力和应用价值,以至于有些学者认为承载力的概念没有任何科学意义而到了应被抛弃的时候了[3-5]。但是,目前我国主流环境学家则认为人类环境的承载力是客观存在的,并将承载力定义为:在维持环境系统功能与结构不发生变化的前提下,区域环境系统所能承受的人类经济社会活动的阈值[2-8];部分学者则将这一阈值具体化为环境所能承受的人口和经济规模的限值[9-13]。

人类承载力评价的核心在于测度人类活动是否处于环境可承载能力的范围之内,陈劭锋等先后提出了承载率的概念,即人类活动的压力与环境承载能力的比值,用以评价区域环境所处的承载状态[3-6,11]。生态环境是人类环境的一个重要组成部分,生态环境承载力评价也不例外,但是由于生态环境系统组成、结构、功能的复杂性、多样性和不确定性,要客观定量计算出生态环境承载能力的阈值和人类活动对生态环境系统施加的压力值均是困难的[3,14-15],尽管学者们在阈值估算方面做了大量的努力,但是所得出的结果差异悬殊,目前还缺少有很强说服力的结果,难以为人类的实践活动提供可靠的决策依据[15]。本文针对目前生态环境承载力评价的难点,依据生态平衡理论和生态稳定性原理,以生态环境系统运行状态评价作为出发点,研究提出了一种生态环境承载力评价的新方法,即"生态环境质量指数动态评价法"。该方法依据生态环境系统承载状态与运行状态的密切关系,将承载力评价转化为生态环境运行状态评价,应用生态环境质量指数(EI)模型计算出评价区多年的 EI 值,然后对 EI 的动态变化趋势进行回归分析,依据回归分析结果对"生态环境系统的运行状态"进行评定,以达到对区域生态环境承载状态进行评价之目的。该方法紧扣生态环境承载力的内涵,避开了生态环境系统承载力阈值测算的难点,为生态环境承载力评价提出了一种新思路和新方法,方法简明易行,结果意义明确,具有一定的推广应用前景。

1 生态环境承载力评价存在的问题及难点

1.1 生态环境概念模糊,评价结果缺乏针对性

生态环境是环境的重要组成部分,是承载力研究的热点[8-9]。不少学者先后对生态环境承载力的概念进行了讨论和定义[8-9,16-19],但是对生态环境的内涵和外延却无明确的定义。用系统论的思想研究解决区域发展中出现的资源、环境和生态等宏观问题本无可厚非,但是,不能将生态环境的外延无限扩大,用其取代自然环境的概念,高鹭等提出的生态承载力研究应综合开展人口、资源、环境等多因素研究的思想[8],模糊化了生态承载力与资源环境综合承载力研究的差异,导致目前多数生态环境承载力的研究实质上是对区域资源环境综合承载力的研究[20-24],土地资源、水资源、矿产等资源短缺问题显然不属于生态建设需要研究解决的范畴,

而对通常意义上人类关注的生态环境问题的研究深度和详细程度又显然不够,难以满足区域生态文明建设和国土开发科学决策的需要[15,25]。

依据《中华人民共和国环境保护法》,人类的自然环境包含了自然资源与环境(狭义)两部分,环境(狭义)又进一步细分为大气、水、土壤和生态环境。环境学将地球环境划分为大气圈、水圈、岩土圈和存在于此三圈之间的生物圈四大圈层,生物圈是人类环境的一个重要组成部分,是与人类生存和发展关系极为密切的环境,这就是通常所称的生态环境[26],依据生态环境系统理论,任何生态环境系统都有生物部分(生物圈)和非生物部分(环境因素),但是,只有具有一定生态关系构成的非生物部分,即生物圈赖以生存的非生物部分才属生态环境系统的组成部分。

综上所述,笔者将生态环境定义为:一定空间范围内由生物圈及其环境组成的具有一定生态功能的综合统一体,即生态环境系统,由生物部分和非生物部分组成,但是非生物部分仅包括构成生物圈赖以生存的环境部分。沿用环境承载力的概念[2-8],将生态环境承载力定义为:某一时期某一地区的生态环境系统,在确保系统的组成、结构和功能不发生退化而处于良性循环发展的条件下,所能承受的人类活动的阈值。具体内涵包括:①承载体是生态环境系统,包括生物圈和生物圈的环境部分;②承载的压力是区域人类活动,而不局限于人口或经济规模,由于区域人口和经济发展对生物资源的消耗和需求并不完全依赖于对区域生物资源的开发利用,并未造成对区域生态环境系统发生相应扰动的现实;③人类活动产生的压力是否大于生态环境系统的支撑能力,是区域生态环境系统是否处于超载状态的评判依据;生态环境系统是否发生退化是生态环境系统是否超载的具体表现和结果。

1.2　生态环境系统结构功能复杂,承载力阈值难以估算

绝大多数生态学家都认为人类承载力是客观存在的,存在着一个类似于 Logistic 曲线 K 值的阈值,各国学者提出了许多种人类承载力的估算方法,例如植被第一生产力估测法、资源与需求的差量法、综合评价法、状态空间法、生态足迹法等等[8-9]。但是,由于生态环境系统的组成、结构和功能是极其复杂多样的,导致在生态环境承载力阈值估算方面面临着两大难题:①生态环境自然属性与人类活动经济社会属性之间的耦合关系不清,建立科学的 K 值预测模型十分困难,人类目前对生态环境支持系统结构和功能的认知,还无法属资源要素评价那样可以明确估算出区域自然资源的供给能力,也无法象土壤、大气、水环境系统那样可以明确测算出其容纳废弃物的能力,生态环境系统结构和功能的复杂性决定了要建立生态环境容量的估算模型是困难的。②人类经济社会活动对生态环境系统影响的两面性,进一步加大了生态环境系统承载力阈值估算的复杂性和不确定性。人类特有的主观能动性使人类与其他生物种群有着极大的不同,人类活动与生态环境之间的关系不能简单的看作是利用与被利用的关系,人类活动不但是生态环境的简单施压者,也是承载能力的创造者,人类可以通过科技进步、生态建设等手段,在相同的生态环境条件下极大地提高其承载能力,这使人类生态环境承载力阈值的估算充满了不确定性和假设性。由于生态环境承载力阈值估算方面面临的难题,造成目前采用不同的方法得到的估算结果间差异巨大,即使利用同一种方法,由于在参数选择、模型构建等方面存在的差异,所得到的承载力估算结果也各不相同。张林波等[15]介绍了不同学者对全球生态环境可以承载的最大人口数量的估算结果,在 1679 年至 1994 年之间的 65 个估算结果中,最小的为 10 亿人,最大为 440 亿人,并且没有明显的随时间上升或下降的趋势。估算结果差异如此巨大,难以作为人类社会实践的科学参考依据,这充分说明了要客观定量估算生态环境系统阈值是极其困难的,甚至有学者认为要获得地球生态环境承载力的精确阈值是可望而不可及的事情。

1.3　人类对生态环境的压力衡量指标不清,对环境造成的压力难以量化

生态环境系统复杂多样的结构和功能为人类提供了多种多样的开发利用价值,人类在开发利用生态环境的活动中必然会影响、扰动生态环境的组成、结构、功能,对生态环境系统的正常运行造成压力。但是目前在测算人类活动的压力方面尚无科学明确的衡量指标,更难以定量化表征。顾康康[9]、高吉喜[18]、黄青[19]等采用人口数量、经济强度及社会总量来表述人类经济社会活动对环境的压力,但是对生态环境来说,人口数量、

经济强度及社会总量与生态环境之间的耦合关系并不是简单的供需、供容关系,其间的压力响应关系以及可能造成的后果是难以准确模拟的[15]。从人类对生物圈生物资源的需求方面,人们通常采用生物资源供需平衡法来评价区域生态环境系统的承载力,虽然可以进行定量化评价,但是,评价结果并不能反映区域生态环境系统的实际承载状况,原因有 3 个方面:①除农田生态系统以外,多数生态环境系统的主体功能已不是生产生物资源,目前人类社会对林木、薪炭、药材等原始生物资的需求有了有效的替代品,对生态环境的生产功能的依赖程度大幅降低;②由于区域环境系统的开放性,某一区域人口、经济对资源的消耗与需求并不依赖于区内资源的供给,并未造成对区域生物资源过渡开发利用的事实;③水土保持、防风固沙、改善气候、维持生物多样性及社会文化功能是生态环境系统的主功能,也是生态保护和建设关注的重点,资源供需平衡情况并不能客观反映区域人类活动对生态环境主体功能的影响,也未能考虑人类活动方式这一重要因素对生态环境的影响,显而易见的是任何高度城市化、工业化地区的资源供需都是不平衡的,据此认为其生态环境系统是严重超载、退化、不可持续的显然是错误的、没有任何实际意义的。

1.4 评价成果偏离承载力内涵,不能满足区域生态建设需要

目前我国主流环境学家普遍认为承载力研究的是“人类社会-自然环境”间的协调关系,人类社会活动的压力是否处于自然环境系统支撑能力的阈值之内是承载力评价的核心任务,但是,现有的多数评价成果偏离了承载力的内涵。权和指数法是承载力评价工作中人们常用的一种方法,在实际工作中多数学者则是对各类指标进行无量纲化以后进行加权求和计算指数,并未进行压力性与支撑性指标间的对比评价[19-23],甚至部分评价指标体系缺失压力性指标[11,19],毫无承载力的内涵,只能算是对环境质量现状的评价,甚至部分评价结果从环境基础理论方面分析连环境质量的意义也不具备。生态环境质量综合指数法是《生态环境状况评价技术规范》规定的一种生态环境质量状况评价方法,也是最常见的一种方法,但是,生态环境质量指数仅反映了生态环境质量现状的相对优劣,并不反映区域生态环境系统的承载状态。

生态足迹法是生态环境承载力评价中应用最多的一种方法,自 1992 年 William Rees 提出生态足迹的概念以来,由于其指标意义明确、计算方法简便,并且冠有“生态”二字,很快受到了国内外学者的关注,被广泛的应用于某一国家或地区的可持续发展状态和生态环境承载力评价[27],虽然我国众多研究者在研究中对其理论缺陷、计算方法从不同侧面进行了大量的补充完善和改进[28-30],并取得了大量的评价成果,但是,评价成果被真正应用于生态保护和建设的实践的情况并不多,原因主要有 3 个方面:①生态足迹法是完全立足于环境系统封闭性的评价方法,评价结果不能反映某一区域生态环境的承载状态;②生态足迹法实际计算的只是某一地区的碳足迹或碳平衡问题(计算方法还存在有缺陷),碳平衡问题是全球工业化消耗化石能源的必然结果,并不能突出反映某一区域的生态环境问题,而在计算消纳区域产生的废弃物方面并没有考虑区域生态保护和建设关注的大气、水环境容量这一现实问题,评价结果缺乏针对性;③由于生态系统类型的多样性和区域功能定位的不同,高度城市化和工业化地区出现生态赤字是必然的、不可避免的,依据生态赤字认为区域生态环境是超载的、不可持续的显然是不严谨的,除了立足于全球或国家层面外,单独计算一个地区的生态足迹是没有意义的,对区域生态保护和建设的指导意义不大。

综上所述,生态环境承载能力评价的理论和方法还存在着许多问题,研究探索评价的新思路、新方法,使评价成果能够服务于生态保护和建设的实践,是生态环境承载力评价需要研究解决的关键问题。

2 基于生态环境系统运行状态的承载力评价法

2.1 方法理论基础与技术思路

由于人类活动的压力值和生态环境的支撑力阈值均是难以定量化计算的,因此采用承载率对生态环境承载状况进行评价困难重重,但是,依据生态平衡理论和生态稳定性原理,生态环境系统承载状态与运行状态间具有密切的因果关系,即:若区域生态环境系统处于可承载状态,则生态环境系统将处于良性循环发展状态;反之若处于超承载状态,则生态环境系统的结构和功能将发生退化,处于非良性循环发展状态,据此可将生态

环境承载状态的评价转化为运行状态的评价。而生态环境系统运行状态的评价,可通过对区域生态环境系统质量的动态变化趋势进行分析评定:若生态环境系统的质量保持稳定或呈提高趋势,则说明其处于良性循环发展状态;反之,则说明其处于退化状态。至此则可将生态环境承载力评价转化为生态环境系统质量的动态变化趋势评价,只要具有或计算出某一地区不同时间的生态环境质量数据,即可分析出生态环境质量的动态变化趋势,而生态环境质量指数(EI)的计算方法是《生态环境状况评价技术规范》规定的一种标准的技术方法[31]。该方法以"生态环境系统是否处于良性运行状态"作为生态环境是否处于可承载力状态的评价标准,避开了生态环境系统承载率测算的难点,虽然借鉴了生态环境质量评价方法,但是并不是对质量现状而是对质量的动态变化趋势的评价。

2.2　具体方法步骤

依据该方法拟定的技术思路,确定该方法的具体评价步骤为:①应用生态环境质量指数(EI)计算模型,计算某一地区不同时间的 EI 值;②分析计算 EI 值的动态变化趋势和变化参数;③依据 EI 的变化趋势和变化参数,对区域生态环境承载力进行评价。

2.2.1　生态环境质量指数计算

依据《生态环境状况评价技术规范(试行)》确定的生态环境质量指数(EI)评价模型[31],计算评价区域不同年份的生态环境质量指数(EI),评价模型为:

EI=0.25×生物丰度指数+0.2×水网密度指数+0.2×植被覆盖指数+0.15×(100-土地退化指数)+0.1×环境质量指数

其中:(1)生物丰度指数=A_{bio}×(0.35×林地+0.21×草地+0.28×水域湿地+0.11×耕地+0.04×建设用地+0.01×未利用地)/ 区域面积

(2)植被覆盖指数=A_{veg}×(0.38×林地面积+0.34×草地面积+0.19×耕地面积+0.07×建设用地+0.02×未利用地)/ 区域面积

(3)水网密度指数=A_{riv}×河流长度/区域面积+A_{lak}×湖库(近海)面积/区域面积+A_{res}×水资源量 / 区域面积

(4)土地退化指数=A_{ero}×(0.05×轻度侵蚀面积+0.25×中度侵蚀面积+0.7×重度侵蚀面积)/ 区域面积

(5)环境质量指数=0.4×(100-A_{SO_2}×SO_2排放量/区域面积)+0.4×(100-A_{COD}×COD 排放量/区域年均降雨量)+0.2×(100-A_{sol}×固体废物排放量/区域面积)

式中:A_{bio}、A_{veg}、A_{riv}、A_{ero}、A_{SO_2}、A_{COD}、A_{sol}分别为河南省的生物丰度、植被覆盖、水网密度、土地退化指数及 SO_2排放量、COD 排放量、固体废物排放量归一化系数。

2.2.2　生态环境质量指数动态变化趋势回归分析

生态环境质量指数发生年际波动是一种正常现象,当变化幅度未超过系统自我调节能力的阈值时,系统将通过自我调节恢复到正常状态,因此,生态环境系统质量短时间的波动变化不能准确反映系统的运行状态,需要对系统质量长期的变化趋势进行分析。本文采用回归分析法对评价区域生态环境质量的变化趋势进行分析,并求解出具体的变化参数,以评定区域生态环境系统的运行状态,具体如下:

(1)生态环境质量指数回归模型

$$EI_t = kt + b$$

其中,$k=\Sigma[(EI_t-\overline{EI})(t-\bar{t})]/\Sigma(t-\bar{t})^2$,反映了 EI 的回归变化趋势和幅度,$k \geq 0$ 反映生态环境质量总体呈提高或保持稳定趋势,$k<0$ 反映生态环境质量总体呈下降趋势;b 为回归常数。

(2)回归效果显著性评价

相关系数平方值:$R^2 = 1 - SS_D/S_{总} = 1 - \Sigma(EI_{t估} - EI_t)^2/\Sigma(EI_t - \overline{EI})^2$。$R^2>0.5$,回归效果好,变化趋势明显;$R^2=0.1$—$0.5$,回归效果中等,变化趋势较明显;$R^2<0.1$,回归效果差,变化趋势不明显。

(3)生态环境质量变化程度分析

依据《生态环境状况评价技术规范》确定的生态环境状况变化程度分级标准[33]评定生态环境质量变化程度,具体如下:

①｜ ΔEI ｜≤1:变化不明显。

② 1<｜ ΔEI ｜≤3:略有变化。ΔEI 为正值环境状况变好;ΔEI 为负值环境状况变差。

③｜ ΔEI ｜>3:变化明显或显著。ΔEI 为正值环境状况明显变好;ΔEI 为负值环境状况明显变差。

2.2.3 生态环境承载力评价

依据生态环境质量指数动态变化趋势分析结果,对生态环境承载力进行评价,具体如下:

(1)$\Delta EI>3$:生态环境质量明显提高,处于明显良性循环状态,即可承载状态。$R^2 \geqslant 0.5$,变化趋势稳定;$R^2 = 0.1$—0.5,变化趋势较稳定;$R^2<0.1$,波动性大。

(2)$1<\Delta EI \leqslant 3$:生态环境质量略有提高,基本处于良性循环状态,即基本可承载状态。$R^2 \geqslant 0.5$,变化趋势稳定;$R^2 = 0.1$—0.5,变化趋势较稳定;$R^2<0.1$,波动性大。

(3)$-1 \leqslant \Delta EI \leqslant 1$:生态环境质量基本稳定,处于平衡状态、基本可承载状态。$R^2 \geqslant 0.5$,轻微改善或退化趋势明显;$R^2 = 0.1$—0.5,处于平衡波动状态;$R^2<0.1$,处于平衡状态,但是波动大。

(4)$-3 \leqslant \Delta EI < -1$:生态环境质量有所下降,处于轻度退化状态,即轻度超载状态。$R^2 \geqslant 0.5$,退化趋势明显;$R^2 = 0.1$—0.5,退化趋势较明显;$R^2<0.1$,退化过程中波动性大。

(5)$\Delta EI < -3$:生态环境质量明显下降,处于明显退化状态,即超载状态。$R^2 \geqslant 0.5$,变化趋势稳定;$R^2 = 0.1$—0.5,变化趋势较稳定;$R^2<0.1$,波动性大。

3 在河南省生态环境承载力评价中的应用

3.1 数据来源

2000—2011 年生态环境质量指数(EI)数据来源于历年《河南省环境质量报告书》,2014 年生态环境质量指数(EI)数据为本次收集资料计算成果(表 1),本次计算所用资料来源如下:

表 1 河南省 2000 年—2014 年生态环境质量指数(EI)一览表

Table 1 The ecological environment index in 2000—2014 in Henan Province

地市 Area	2000	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2014
郑州	56.98	61.45	57.99	59.74	58.58	60.25	61.10	60.30	61.10	61.59
开封	54.71	55.58	55.00	58.26	58.49	58.25	58.20	58.90	58.20	58.68
洛阳	70.91	72.64	69.08	71.05	70.94	70.87	71.73	70.90	71.70	72.36
平顶山	65.25	62.18	62.62	63.31	65.80	64.65	65.59	64.70	65.60	66.15
安阳	53.87	50.16	53.48	56.53	56.64	57.27	56.65	57.30	56.70	57.23
鹤壁	56.29	52.65	52.47	55.35	55.37	55.90	55.11	55.90	55.10	55.58
新乡	54.28	57.70	58.32	61.72	60.68	59.64	59.96	59.60	60.00	60.53
焦作	53.86	56.15	57.32	61.11	59.86	60.07	61.20	60.10	61.20	61.69
濮阳	46.51	51.05	54.79	56.40	56.66	57.14	57.24	57.10	57.20	57.71
许昌	54.52	52.18	53.34	57.40	58.18	56.97	57.46	57.00	57.50	58.00
漯河	60.72	56.24	57.57	59.97	61.95	59.67	59.70	59.70	59.70	60.24
三门峡	76.13	74.00	69.68	71.65	72.41	73.15	74.48	73.20	74.50	75.17
南阳	78.44	75.32	74.01	74.42	76.38	75.04	75.89	75.00	75.90	76.53
商丘	57.25	56.29	54.70	57.20	58.60	57.59	57.40	57.60	57.40	57.91
信阳	84.41	85.40	78.30	76.97	81.59	81.13	77.58	81.10	77.60	78.28
周口	58.54	56.32	58.80	60.99	62.53	61.48	60.99	61.50	61.00	61.50
驻马店	69.14	61.21	66.54	66.08	70.45	68.01	64.73	68.00	64.70	65.28
济源	52.36	57.71	64.17	67.15	68.87	69.31	68.24	69.30	68.20	68.77
全省 Total	62.78	62.23	63.91	63.14	64.95	64.29	64.02	64.30	64.00	64.61

(1)生物丰度指数及植被覆盖指数计算数据:林地、草地、水域湿地、耕地、建设用地、未利用地等土地面积及区域面积数据来源于河南省国土资源厅 2014 年度土地利用变更数据。

(2)水网密度指数计算数据:河流长度、湖库面积、区域面积等数据来源于河南省国土资源厅 2014 年度土地利用变更数据库统计数据,水资源量来源于河南省 2014 年水资源公报。

(3)土地退化指数计算数据:轻度侵蚀、中度侵蚀、重度侵蚀土地面积来源于 2014 年 Landsat-7 ETM 卫星遥感解译数据,为"中原经济区资源环境承载力评价与区划"项目遥感解译成果。

(4)环境质量计算数据:SO_2 排放量、COD 排放量、固体废物排放量等数据来源于 2014 年度河南省环境质量报告书。

3.2　评价结果

3.2.1　全省生态环境承载力评价

河南省 2000—2014 年生态环境质量指数如表 1 所示,在全省生态环境质量指数变化趋势散点图(图 1)上可看出,近 15 年来全省生态环境质量指数(EI)呈波动性上升趋势,相关系数 R=0.7416,通过对变化趋势进行回归分析,求解得全省生态环境质量指数变化趋势回归模型为:

$$EI_t = 0.1817t + 301.0252\ (t\ 为年份)$$

由全省生态环境质量指数变化趋势回归模型计算得,近 15 年来全省生态环境质量指数(EI)提高了2.45,生态环境质量略有提高;R=0.7416≥0.7,生态环境质量逐步改善提高趋势稳定。反映了全省生态环境系统基本处于良性循环状态,即处于基本可承载状态。

3.2.2　各地市生态环境承载力评价

对河南省各地市 2000—2014 年生态环境质量指数(表 1)变化趋势进行回归分析,求解得各地市的生态环境质量指数变化趋势回归模型、相关系数 R 及近 15 年来的生态环境质量指数变化值(ΔEI)如表 2 所示,由表 2 可看出:全省 18 个地市中,生态环境质量明显变好,处于可承载状态的地市有 9 个;生态环境质量略微提高或变化不明显,处于基本可承载状态的地市有 7 个;生态环境质量呈下降趋势,处于轻度和中度超载的地市各 1 个。

表 2　各地市生态环境质量指数变化趋势线性回归一览表

Table 2　The regression of the tendency of *EI* in the local regions

地市 Area	回归方程 Regression equation	R^2	ΔEI	承载力评价 CC evaluation
郑州	$EI=0.2873t-516.89$	0.520	4.02	可承载
开封	$EI=0.3362t-617.52$	0.660	4.71	可承载
洛阳	$EI=0.0850t-99.38$	0.115	1.19	基本可承载
平顶山	$EI=0.1799t-296.56$	0.257	2.52	基本可承载
安阳	$EI=0.4027t-752.7$	0.458	5.64	可承载
鹤壁	$EI=0.0793t-104.15$	0.056	1.11	基本可承载
新乡	$EI=0.3822t-707.89$	0.525	5.35	可承载
焦作	$EI=0.5783t-1101.62$	0.767	8.10	可承载
濮阳	$EI=0.7855t-1521.61$	0.732	11.00	可承载
许昌	$EI=0.3679t-682.20$	0.472	5.15	可承载
漯河	$EI=0.0821t-105.17$	0.042	1.15	基本可承载
三门峡	$EI=0.0445t-15.98$	0.009	0.62	基本可承载
南阳	$EI=-0.0646t+205.34$	0.041	-0.90	基本可承载
商丘	$EI=0.1080t-159.59$	0.165	1.51	基本可承载
信阳	$EI=-0.4536t+990.69$	0.362	-6.35	中度超载
周口	$EI=0.3108t-563.47$	0.426	4.35	可承载
驻马店	$EI=-0.1080t+283.25$	0.026	-1.51	轻度超载
济源	$EI=1.2190t-2381.6$	0.687	17.07	可承载

(1)济源、濮阳、焦作、安阳、新乡、许昌、开封、周口、郑州：ΔEI>3，生态环境质量明显提高，生态环境系统处于明显良性运行状态，可承载状态。R^2>0.5 或接近 0.5，回归变化趋势明显。在这 9 个地市中济源、濮阳、焦作、安阳、新乡、许昌、开封等 6 个地市 2000 年的生态环境质量指数 EI<55，环境质量现状一般，但是，济源、焦作由于小浪底水库的修建，濮阳、安阳、新乡、开封由于加强黄河故道区沙化土地治理，生态环境质量均得到显著改善，生态环境系统处于可承载状态。

(2)平顶山、商丘、洛阳、漯河、鹤壁：1<ΔEI≤3，生态环境质量略微提高，基本处于良性运行状态，即基本可承载状态。平顶山、商丘、洛阳 0.1<R^2≤0.5，回归变化趋势较明显；漯河、鹤壁 R^2≤0.1，回归变化趋势不明显，具波动性。

(3)三门峡、南阳：-1≤ΔEI≤1，生态环境质量变化不明显，R^2≤0.1，回归变化趋势不明显，表现为波动性，生态环境系统处于波动性平衡状态，即基本可承载状态。

(4)驻马店：-3<ΔEI≤-1，生态环境质量略微降低，R^2≤0.1，回归变化趋势不明显，具波动性，生态环境系统呈波动性轻微退化状态，即处于轻度超载状态。

(5)信阳市：ΔEI<-3，生态环境质量明显下降，处于明显退化状态，生态环境系统处于中度超载状态。R^2=0.36，呈波动性退化趋势(图 2)。需要强调的是信阳市的生态环境质量现状为优，但是由于低丘缓坡城镇化开发强度较大，生态环境系统退化明显，目前处于超载状态，应引起高度重视。

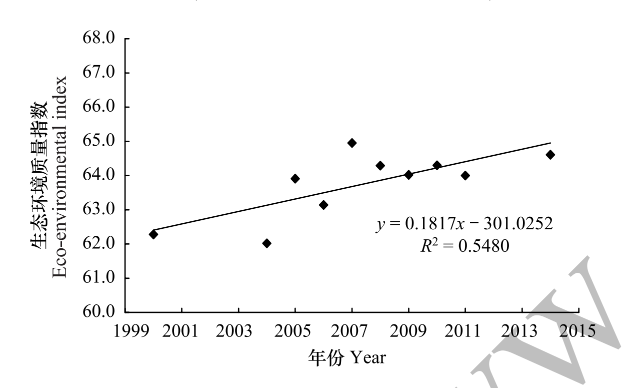


图 1 河南省生态环境质量指数变化趋势散点图

Fig.1 Scatter diagram and tendency of EI in Henan

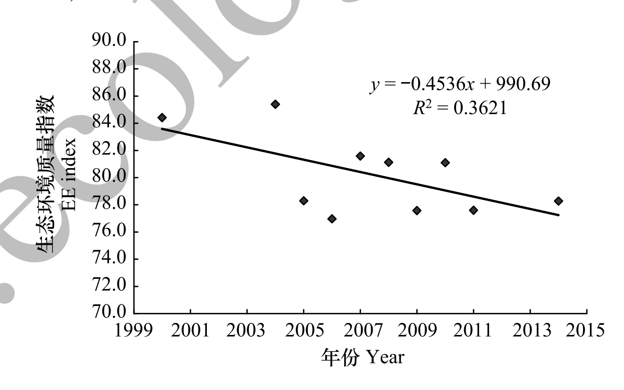


图 2 信阳市生态环境质量指数变化趋势散点图

Fig.2 Scatter diagram and tendency of EI in Xinyan

4 结论与讨论

4.1 结论

(1)生态环境质量现状评价不能替代承载力评价，区域生态环境质量现状优良仅反映了生态环境系统可承载能力强、阈值大，并不能说明人类活动强度就一定处于生态环境系统可承载的阈值之内，在人类超强度、破坏性开发的情况下，优良的环境系统也会处于超载状态，发生结构和功能退化。

(2)由于生态环境可承载能力的阈值和人类活动对生态环境施加压力的大小难以定量计算，这制约了承载率法在生态环境承载力评价中的应用，"生态环境质量指数动态评价法" 依据生态平衡理论和生态稳定性原理，将承载力评价转化为运行状态评价，避开了生态环境系统承载率测算的难点，方法简明易行，结果意义明确，具有一定的推广应用前景。

(3)河南省近 15 年来的生态环境质量总体为稳中略有提高，生态环境总体处于可承载、基本可承载状态；但是在 18 个地市中，信阳和驻马店 2 个地市处于超载状态，信阳是全省生态环境质量现状最好的地区，但是质量动态呈下降趋势，应引起政府决策部门的高度重视。

4.2 讨论

(1)不同学者对"生态环境承载力"这一概念的理解存在较大差异，但是，生态环境是自然环境的一部分，

生态环境承载力研究不能偏离承载力的基本内涵。目前我国主流环境学家普遍认为承载力是在维持区域环境系统结构不发生质的改变,区域环境功能不发生退化或朝恶性方向演变的条件下,区域环境系统所能承受的人类经济社会活动的阈值,超出这一阈值区域环境系统结构和功能将发生退化或朝恶性方向演化。可以看出,承载力是区域环境系统与社会经济活动间适宜程度的反映,生态环境承载力的概念也不应例外,生态环境质量研究、人类活动对生态环境系统的压力研究不能替代承载力评价研究。

(2)生态环境承载力评价总是与环境退化、生态破坏、人口增加、经济发展等问题相联系的,由于生态环境系统结构和功能的复杂性,使生态承载力评价研究面临很多困难,植被第一生产力估测法、资源供需平衡法、生态足迹法等评价的均是生态环境承载力的某个侧面,而且没能考虑生物资源的可替代性和生态环境系统的开放性,评价结果未能突出反映人类关注的区域生态环境问题。

(3)“生态环境质量指数动态评价法”依据生态环境系统动态、平衡和稳定的原理,从承载状态导致的结果和表现作为切入点,对区域生态环境的承载状态进行评价,评价结果是生态环境系统结构和功能动态变化态势的综合反映,但是,在生态环境质量指数计算方面还有待改进、完善,构建科学、简便的生态环境质量指数模型是促进该方法推广应用的关键。

参考文献(References):

[1] Price D.Carrying Capacity Reconsidered. Population and Environment,1999,2(1):5-26.
[2] 郭秀锐,毛显强,冉圣宏.国内环境承载力研究进展.中国人口·资源与环境,2000,10(3):28-30.
[3] 陈劭锋.承载力:从静态到动态的转变.中国人口·资源与环境,2003,13(1):13-17.
[4] 王俭,孙铁珩,李培军,李法云.环境承载力研究进展.应用生态学报,2005,16(4):768-772.
[5] 张林波,李文华,刘孝富,王维.承载力理论的起源、发展与展望.生态学报,2009,29(2):878-888.
[6] 彭再德,杨凯,王云.区域环境承载力研究方法初探.中国环境科学,1996,16(1):6-10.
[7] 王家骥,姚小红,李京荣,常虹,王渊高.黑河流域生态承载力估测.环境科学研究,2000,13(2):44-48.
[8] 高鹭,张宏业.生态承载力的国内外研究进展.中国人口·资源与环境,2007,17(2):19-26.
[9] 顾康康.生态承载力的概念及其研究方法. 生态环境学报,2012,21(2):389-396.
[10] 唐剑武,叶文虎.环境承载力的本质及其定量化初步研究. 中国环境科学,1998,18(3):227-230.
[11] 洪阳,叶文虎.可持续环境承载力的度量及其应用.中国人口·资源与环境,1998,8(3):54-58.
[12] 于广华,孙才志.环渤海沿海地区土地承载力时空分异特征.生态学报,2015,35(14):4860-4870.
[13] 韩俊丽,段文阁.城市水资源承载力基本理论研究.中国水利,2004(7):12-14.
[14] 张林波,刘孝富,舒俭民,王维.人类承载力“K 值”影响因素. 中国人口·资源与环境,2007,17(6):54-59.
[15] 张林波,李兴,李文华,王维,刘孝富.人类承载力研究面临的困境与原因. 生态学报,2009,29(2):889-897.
[16] 杨志峰,隋欣.基于生态系统健康的生态承载力评价. 环境科学学报,2005,25(5):586-594.
[17] 杨贤智.环境管理学.北京:高等教育出版社,1990:150-155.
[18] 高吉喜.可持续发展理论探索——生态承载力理论、方法与应用.北京:中国环境科学出版社,2001.
[19] 黄青,任志远.论生态承载力与生态安全.干旱区资源与环境,2004,l8(2):11-l7.
[20] 黄志基,马妍,贺灿飞.中国城市群承载力研究.城市问题,2012(9):2-8.
[21] 徐琳瑜,杨志峰,李巍.城市生态系统承载力理论与评价方法.生态学报,2005,25(4):771-777.
[22] 金悦,陆兆华,檀菲菲,张萌,张红玉.典型资源型城市生态承载力评价——以唐山市为例.生态学报,2015,35(14):4852-4859.
[23] 张义,张合平.基于生态系统服务的广西水生态足迹分析.生态学报,2013,33(13):4111-4124.
[24] 符国基,徐恒力,陈文婷.海南省自然生态承载力研究. 自然资源学报,2008,23(3):412-421.
[25] 刘某承,苏宁,伦飞,曹智,李文华,闵庆文.区域生态文明建设水平综合评估指标.生态学报,2014,34(1):97-104.
[26] 毛永文.生态环境影响评价概论.北京:中国环境科学出版社,1998:28-56.
[27] 刘东,封志明,杨艳昭.基于生态足迹的中国生态承载力供需平衡分析.自然资源学报,2012,27(4):614-624.
[28] 彭建,吴建生,蒋依依,叶敏婷.生态足迹分析应用于区域可持续发展生态评估的缺陷.生态学报,2006,26(8):2716-2722.
[29] 陈成忠,林振山.生态足迹模型的争论与发展. 生态学报,2008,28(12):6252-6263.
[30] 周涛,王云鹏,龚健周,王芳,冯艳芬.生态足迹的模型修正与方法改进.生态学报,2015,35(14):4592-4603.
[31] 中华人民共和国环境保护部. HJ/T192-2006,生态环境状况评价技术规范(试行).HJ/T192—2006,生态环境状况评价技术规范(试行).北京:中国环境科学出版社,2006.
[32] 中华人民共和国环境保护部. HJ/T192-2015,生态环境状况评价技术规范. 北京:中国环境科学出版社,2015.